

На правах рукописи



ОГНЕВ Игорь Игоревич

**СНИЖЕНИЕ ПОТЕРЬ ЗЕРНА ЗА ПОДБОРЩИКОМ ПРИ КОМБАЙНОВОЙ
УБОРКЕ УРОЖАЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕМ ПОДБИРАЮЩЕЙ
ПОВЕРХНОСТИ ПРУЖИННЫХ ПАЛЬЦЕВ**

Специальность 05.20.01 – Технологии и средства
механизации сельского хозяйства

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Оренбург – 2017

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Южно-Уральский государственный аграрный университет» (ФГБОУ ВО Южно-Уральский ГАУ).

Научный руководитель:

Ловчиков Александр Петрович

доктор технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный аграрный университет»

Официальные оппоненты:

Беляев Владимир Иванович

доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Алтайский государственный аграрный университет»

Глушков Иван Николаевич

кандидат технических наук, доцент ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный аграрный университет»

Ведущая организация:

ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный аграрный университет»

Защита диссертации состоится 29 июня 2017 г. в 12.00 часов, на заседании диссертационного совета Д 220.051.02 при ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный аграрный университет» по адресу: 460014, г. Оренбург, ул. Коваленко, д. 4 (корпус № 3 ОГАУ, инженерный факультет) ауд. 218.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО Оренбургского государственного аграрного университета. Объявление о защите и автореферат размещены на сайте ФГБОУ ВПО «Оренбургский государственный аграрный университет» <http://www.orensau.ru> и на сайте Федеральной службы по надзору в сфере образования и науки Минобрнауки России <http://www.vak.ed.gov.ru>

Автореферат разослан «_____» _____ 2017 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



М.М. Константинов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Уборка урожая – заключительный этап технологической цепочки возделывания сельскохозяйственных культур. Продолжительность уборки урожая по регионам Российской Федерации превышает нормативные показатели в 3 – 9 раз, отсюда большие потери зерна, достигают до 9,0 млн. т. По этой причине логично наблюдать сложившуюся у сельхозтоваропроизводителей тенденцию к применению высокопроизводительных зерноуборочных комбайнов семейств «ДОН», «ACROS», «TORUM», «VECTOR» и аналогичных зарубежного производства. Однако данные зерноуборочные комбайны требуют своей технологической загрузки в условиях Южного Урала (Челябинской области), которая, как показывает наука и практика, осуществляется за счет валкообразования хлебной массы и применения транспортерных подборщиков у зерноуборочных комбайнов.

Использование транспортерного подборщика, оснащенного серийными пружинными пальцами, не дает требуемого результата при выполнении технологического процесса подбора валка хлебной массы, так как они являются основным источником потерь зерна.

Работа выполнена в соответствии с разделом федеральной программы по научному обеспечению АПК Российской Федерации: «Разработать перспективную систему технологий и машин для производства продукции растениеводства и животноводства на период до 2025 г.».

Степень разработанности темы. Вопросами снижения потерь зерна занимались В.И. Агарков, А.А. Антоненко, А.А. Баранов, В.Н. Беляев, А.И. Будко, Л.И. Бушев, А.Н. Важенин, В.Н. Гячева, Е.Е. Демин, М.Н. Ерохин, Э.В. Жалнин, В.И. Журавлев, А.И. Завражнов, А.П. Карпуша, М.М. Константинов, А.А. Копченков, П.И. Костров, Е.Д. Милованов, Н.Н. Мирошниченко, П.А. Николаев, А.М. Озеров, А.Н. Осипов, Н.Е. Чубиков и многие другие. Однако предложенные технологические приемы не обеспечивают снижение потерь зерна за транспортерным подборщиком зерноуборочного комбайна.

Цель исследования. Снижение потерь зерна при подборе валков хлебной массы путем совершенствования подбирающей поверхности пружинного пальца транспортерного подборщика зерноуборочного комбайна.

Объект исследования. Технологический процесс подбора валков хлебной массы транспортерным подборщиком, оснащенным пружинными пальцами с измененной геометрией подбирающей поверхности.

Предмет исследования. Закономерности, характеризующие параметры подбирающей поверхности пружинного пальца и процесса подбора хлебной массы валка.

Методика исследований. В ходе теоретических исследований были использованы методы математического анализа, теоретической механики, сопро-

тивления материалов, математического и компьютерного моделирования с использованием программных продуктов SolidWorks 2014, КОМПАС – 3D V15, ANSYS – V 15.0. Результаты экспериментальных данных обрабатывались в соответствии с общепринятыми методиками планирования полнофакторного эксперимента с использованием программных продуктов Microsoft Excel, MathCAD 10, Statistica 10 Enterprise.

Научную новизну работы представляют:

- классификация конструкции пружинного пальца транспортерного подборщика зерноуборочного комбайна;
- аналитические зависимости, характеризующие изменение геометрических параметров кольцевого витка, образованного на подбирающей поверхности пружинного пальца;
- уравнение, характеризующее изменение затрачиваемого усилия на подъем хлебной массы валка в зависимости от геометрических параметров пружинного пальца с кольцевым витком на подбирающей поверхности;
- закономерности и уравнения регрессии, характеризующие изменение потерь зерна за транспортерным подборщиком зерноуборочного комбайна, при взаимодействии пружинного пальца различной геометрии подбирающей поверхности с хлебной массой валка.

Практическая ценность:

- предложена конструкция пружинного подбирающего пальца для транспортерного подборщика зерноуборочного комбайна (патент на полезную модель № 158040 RU МПК А 01 D 89/00 от 18.05.2015 г.);
- обоснованы конструктивные параметры изменения геометрии подбирающей поверхности пружинного пальца. Результаты исследований приняты за основу при создании опытного образца пружинного пальца транспортерного подборщика зерноуборочного комбайна.

Вклад автора в проведенное исследование. Разработана классификация конструкции пальца транспортерного подборщика зерноуборочного комбайна. Получены регрессионные модели изменения потерь зерна за транспортерным подборщиком зерноуборочного комбайна в зависимости от воздействующих факторов. Проведены производственные испытания и дано технико-экономическое обоснование внедрения пружинного пальца с измененной геометрией подбирающей поверхности.

Внедрение. Конструкция пружинного пальца с измененной геометрией подбирающей поверхности внедрена в хозяйстве ООО «Светлогорское зерно», Агаповского района, Челябинской области; в хозяйстве ООО «Варнаагромаш», Варненского района, Челябинской области; в крестьянском (фермерском) хозяйстве Дроботенко И. А., Чебаркульского района, Челябинской области и в учебном

процессе кафедры «Эксплуатация транспортных и технологических машин» ФГБОУ ВО «Уральский государственный аграрный университет».

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы были доложены и одобрены на ежегодных международных научно-технических конференциях ФГБОУ ВО «Южно-Уральского ГАУ» (г. Челябинск, 2013-2015 гг.), на ежегодных международных научно-технических конференциях ФГБОУ ВО «Уральский ГАУ» (г. Екатеринбург, 2012-2014 гг.), на конкурсе «Участник молодежного научно-инновационного конкурса» (УМНИК) в рамках конференции «Наукоемкие инновационные проекты молодых ученых Свердловской области» (г. Екатеринбург, апрель 2014 г.), на V международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы науки XXI века» в международной исследовательской организации «Cognito», (г. Москва, декабрь 2015 г.), на IX международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы науки XXI века» в международной исследовательской организации «Cognito», (г. Москва, апрель 2016 г.).

Научные положения, выносимые на защиту:

- теоретические зависимости для определения геометрических параметров подбирающей поверхности пружинного пальца и усилия, затрачиваемого на подъем хлебной массы вала при подборе;
- аналитические зависимости и закономерности для определения потерь зерна за транспортерным подборщиком зерноуборочного комбайна;
- уравнения регрессии и экспериментальные зависимости, описывающие влияние основных технологических параметров вала хлебной массы и конструктивных параметров пружинного пальца на потери зерна за транспортерным подборщиком зерноуборочного комбайна.

Обоснованность и достоверность научных положений подтверждена высокой сходимостью результатов теоретических и экспериментальных исследований, положительными результатами опытов и производственных испытаний, разработанного технического решения.

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 10 статей, из них 6 в журналах, рекомендованных ВАК Министерства образования и науки РФ. Получен патент РФ на полезную модель.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, общих выводов, списка литературы и приложений. Основное содержание работы изложено на 143 страницах машинописного текста, содержит 21 таблиц, 60 рисунков и 17 приложений. Список литературы содержит 146 наименований. Общий объем диссертации составляет 181 страниц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, показана ее научная и практическая значимость, дана общая характеристика выполненных исследований, изложены основные положения, выносимые на защиту, научная новизна, практическая ценность работы и результаты ее реализации.

В первой главе «Состояние вопроса, цель и задачи исследования» проведен анализ работ, посвященных исследованиям процесса подбора валка хлебной массы, рассмотрены технологические схемы существующих подборщиков зерноуборочных комбайнов.

Исследованиями процесса подбора валков хлебной массы занимались В.И. Агарков, А.А. Антоненко, А.А. Баранов, В.Н. Беляев, А.И. Будко, Л.И. Бушев, А.Н. Важенин, В.Н. Гячева, Е.Е. Демин, М.Н. Ерохин, Э.В. Жалнин, В.И. Журавлев, А.И. Завражнов, А.П. Карпуша, М.М. Константинов, А.А. Копченков, П.И. Костров, Е.Д. Милованов, Н.Н. Мирошниченко, П.А. Николаев, А.М. Озеров, А.Н. Осипов, Н.Е. Чубиков и др.

В результате обзора научно-технической литературы выявлено, что уменьшить потери зерна при подборе валков хлебной массы транспортерным подборщиком комбайна можно за счет совершенствования подбирающей поверхности пружинного пальца.

В соответствии с результатами анализа и целью работы поставлены **следующие задачи исследования:**

1. Провести обзор и обосновать направления повышения эффективности процесса подбора хлебной массы транспортерным подборщиком зерноуборочного комбайна;
2. Обосновать и установить закономерности для определения подбирающей поверхности пружинного пальца транспортерного подборщика зерноуборочного комбайна, обеспечивающие снижение потерь зерна при подборе хлебной массы валка;
3. Установить закономерности, характеризующие изменение потерь зерна за транспортерным подборщиком при взаимодействии пружинного пальца с изменённой геометрией подбирающей поверхности с хлебной массой валка;
4. Подтверждение результатов исследования лабораторными и производственными экспериментами с расчетом показателей экономической эффективности от использования предлагаемого совершенствования подбирающей поверхности пружинного пальца на основе транспортерного подборщика зерноуборочного комбайна «ACROS-530» при подборе хлебной массы валка.

Во второй главе «Теоретические предпосылки совершенствования подбирающей поверхности пружинного пальца подборщика комбайна» было обосновано изменение подбирающей поверхности пружинного пальца и снижение потерь зерна за подборщиком комбайна. В ходе обоснования было установлено, что для уменьшения отрицательного воздействия центробежной силы (сбрасывает растительный

материал с пружинного пальца) при взаимодействии пружинного пальца с хлебной массой вала, целесообразно увеличить площадь контакта за счет образования кольцевого витка на подбирающей поверхности (рисунок 1а). В этом случае, подбирающую поверхность пальца с кольцевым витком условно можно разбить на несколько участков (рисунок 1, б). Участки под номерами 1-2-3-4 представляют собой прямолинейные цилиндрические поверхности, а 5-6 – кольцевая поверхность.

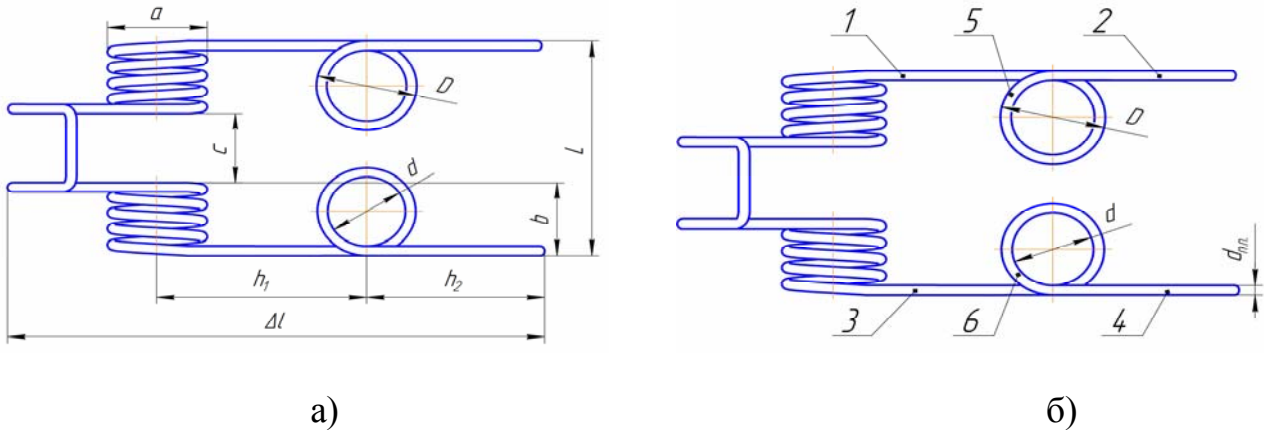


Рисунок 1 – Общий вид изменения геометрии (а) и схема разделения подбирающей поверхности пружинного пальца (б)

Общая контактная площадь подбирающей поверхности будет складываться из суммы всех прямолинейных цилиндрических участков и участков кольцевой поверхности:

$$S_{\text{общ.пл.}} = S_{\text{цил.уч.пол.}} + S_{\text{к.п.пол.}}, \quad (1)$$

где $S_{\text{цил.уч.пол.}}$ – контактная площадь всех прямолинейных цилиндрических участков пружинного пальца, м^2 ;

$S_{\text{к.п.пол.}}$ – контактная площадь кольцевых поверхностей, м^2 .

Контактная площадь одного прямолинейного цилиндрического участка подбирающей поверхности пружинного пальца определяется:

$$S_{\text{цил.уч.}} = 2\pi r(h + r), \quad (2)$$

где r – радиус основания окружности, прямолинейного цилиндрического участка подбирающей поверхности пружинного пальца, м;

$h = (h_1 + h_2)$ – длина цилиндрической поверхности прямолинейного участка подбирающей поверхности пружинного пальца, м.

Для одного кольцевого участка подбирающей поверхности пружинного пальца контактная площадь равна:

$$S_{\text{кол.уч.}} = \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2), \quad (3)$$

где D – внешний диаметр кольца, м;

d – внутренний диаметр кольца, м.

На основе выражений (1), (2) и (3), а также с учетом, что количество прямолинейных цилиндрических участков подбирающей поверхности пальца будет равняться четырем, а количество кольцевых участков равно двум, после всех преобразований общую контактную площадь подбирающей поверхности пружинного пальца можно записать:

$$S_{\text{общ.пл.}} = (8\pi r(h + r)) + \left(\frac{\pi}{2}(D^2 - d^2) \right). \quad (4)$$

Из выражения (4) видно, что контактная площадь подбирающей поверхности с пружинного пальца прямо пропорциональна внешнему и внутреннему диаметру кольцевого витка. Практически, контактная площадь пружинного пальца с кольцевым витком на подбирающей поверхности увеличивается на 6,0 – 18,0 % в сравнении со стандартным пружинным пальцем при изменении внешнего диаметра (D) в пределах 15 – 40 мм.

Изменение геометрических параметров подбирающей поверхности пружинного пальца можно оценить посредством коэффициента ($k_{\text{к.п.}}$), который определяется соотношением:

$$k_{\text{к.п.}} = \frac{\frac{\pi}{2}(D^2 - d^2) + 8\pi r(h + r)}{8\pi r(h + r)}, \quad (5)$$

где $k_{\text{к.п.}}$ – коэффициент, характеризующий контактную площадь подбирающей поверхности пружинного пальца.

Из анализа уравнения (5) следует, что коэффициент ($k_{\text{к.п.}}$) прямо пропорционален внешнему диаметру (D) кольцевого витка подбирающей поверхности пружинного пальца.

В общем случае, кольцевой виток на подбирающей поверхности пружинного пальца можно представить, как элемент витковой пружины. Тогда кольцевой виток может рассматриваться как пространственно изогнутый брус с осью, изогнутой по винтовой линии. В зависимости от вида рабочей нагрузки ($F_{\text{ВАЛКА}}$), кольцевой виток пружинного пальца может работать как пружина растяжения, так и сжатия. Поэтому, определим жесткость кольцевого витка подбирающей поверхности пружинного пальца:

$$\Delta k = \frac{F_{\text{ВАЛКА}}}{\frac{G \cdot d_{\text{н.п.}}^4}{8 \cdot D^3 \cdot n}}, \quad (6)$$

где $F_{\text{ВАЛКА}}$ – сила, действующая со стороны вала хлебной массы, Н; G – модуль сдвига, Па; $d_{\text{н.п.}}$ – диаметр проволоки пружинного пальца, м; n – количество витков на кольцевом витке подбирающей поверхности пружинного пальца, шт.

Тогда из уравнения (6) с учетом выражения (5), можно определить усилие

($F_{БАЛКА}$), действующее со стороны вала хлебной массы:

$$F_{БАЛКА} = \frac{8 \left(\sqrt{2k_{к.н.} r(h+r) + d^2} \right)^3 n}{\Delta k G d_{н.н.}^4}, \quad (7)$$

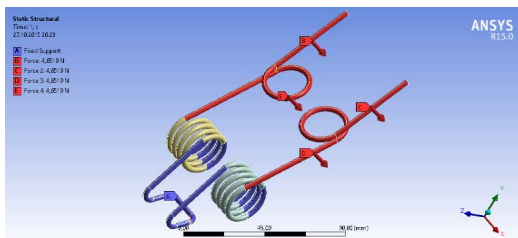
где Δk – жесткость кольцевого витка, на подбирающей поверхности пружинного пальца, Н/м.

Так как количество витков (n) на кольцевом витке подбирающей поверхности пружинного пальца равно одному, то выражение (7) после всех преобразований можно записать следующим образом:

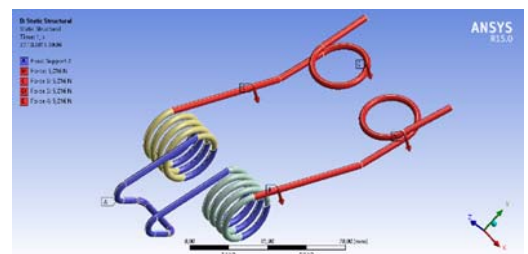
$$F_{БАЛКА} = \frac{8 \left(\sqrt{2k_{к.н.} r(h+r) + d^2} \right)^3}{\Delta k G d_{н.н.}^4}. \quad (8)$$

Анализируя уравнение (8), можно прийти к выводу, что значение усилия, действующего со стороны хлебной массы вала ($F_{вала}$) на пружинный палец с кольцевым валком на подбирающей поверхности, прямо пропорционально изменению внутреннего диаметра кольцевого витка (d).

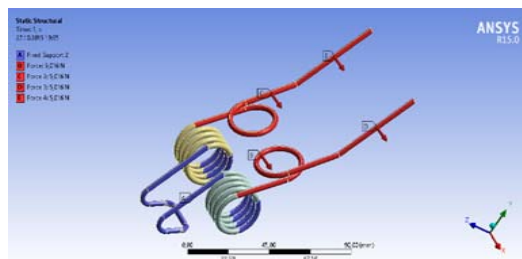
Исходя из значений ($F_{вала}$), полученных на основе выражения (8) и компьютерного моделирования 3-D модели пружинного пальца (рисунок 2) с учетом особенности работы транспортера подборщика комбайна было определено, что кольцевой виток целесообразно расположить в центральной части подбирающей поверхности пружинного пальца (рисунок 2, а).



а)



б)



в)

Рисунок 2 – Приложение сил, действующих на подбирающую поверхность пружинного пальца при перемещении вала хлебной массы:

- а – расположение кольцевого витка в средней части подбирающей поверхности;
- б – расположение кольцевого витка в верхней части подбирающей поверхности;
- в – расположение кольцевого витка в нижней части подбирающей поверхности

При этом величина внешнего диаметра (D) кольцевого витка должна составлять не более 0,015 – 0,028 м, исходя из конструктивных соображений.

Кроме того, в ходе теоретических изысканий установлено, что величина усилия ($F_{\text{ВАЛКА}}$) влияет на общее усилие, затрачиваемое на подъем валка хлебной массы пружинным пальцем с кольцевым витком на подбирающей поверхности, которое равно:

$$F_{\text{ОБЩ.}}^{\text{П.П.}} = F_{\text{УПР.}}^{\text{П.П.}} - F_{\text{ВАЛКА}}, \quad (9)$$

где $F_{\text{УПР.}}^{\text{П.П.}}$ – сила упругости пружинного пальца, Н;

В развернутом виде общее усилие, затрачиваемое на подъем валка хлебной массы ($F_{\text{ОБЩ.}}^{\text{П.П.}}$) можно записать в следующем виде:

$$F_{\text{ОБЩ.}}^{\text{П.П.}} = \left(\frac{\delta_{\text{н.н.}} \cdot 3 E \pi d_{\text{н.н.}}^4}{64 \Delta l^3} \cdot \sqrt{1 + \frac{V_{\text{КП}}^2 + V_{\text{ТП}}^2}{g \cdot \delta_{\text{н.н.}}}} \right) 2 - \frac{8 \left(\sqrt{2 k_{\text{к.н.}} r (h + r) + d^2} \right)^3}{\Delta k G d_{\text{н.н.}}^4}, \quad (10)$$

где $\delta_{\text{н.н.}}$ – прогиб пружинного пальца, м; E – модуль упругости материала, Па; Δl – длина пружинного пальца, м; $V_{\text{КП}}$ – линейная скорость конца пружинного пальца, м/с; $V_{\text{ТП}}$ – скорость перемещения подборщика, м/с; g – ускорение свободного падения, м/с²; 2 – количество подбирающих поверхностей на пальце.

Из выражения (10) следует, что во время взаимодействия пружинного пальца с хлебной массой валка образуется динамический удар, который характеризуется коэффициентом динамического удара (k_d):

$$k_d = \sqrt{1 + \frac{V_{\text{КП}}^2 + V_{\text{ТП}}^2}{g \cdot \delta_{\text{н.н.}}}}. \quad (11)$$

В уравнении (11) имеется параметр ($V_{\text{ТП}}$), который взаимосвязан со скоростью движения зерноуборочного комбайна, поэтому можно записать, что $V_{\text{ТП}} = V_{\text{К}}$.

В свою очередь, скорость движения зерноуборочного комбайна ($V_{\text{К}}$, м/с) при подборе хлебной массы валка определяется соотношением:

$$V_{\text{К}} = \frac{q}{m}, \quad (12)$$

где q – пропускная способность молотилки зерноуборочного комбайна, кг/с;

m – масса погонного метра валка хлебной массы, кг/пог. м.

В выражении (12), в знаменателе имеется параметр (m), как показывают исследования, влияет на потери зерна ($\psi_{\text{ср}}$, кг) за транспортерным подборщиком комбайна. Данная взаимосвязь описывается уравнением:

$$\psi_{\text{ср}} = a_1 + b_1 m + a_2 \gamma + a_3 h + b_2 m^2 - a_4 \gamma^2 - a_5 h^2, \quad (13)$$

где m – масса погонного метра валка хлебной массы, кг/пог. м; γ – угол наклона транспортной ленты подборщика к горизонтальной плоскости, град.; h – высота расположения хлебной массы валка на стерне, м; $a_1, b_1, a_2, a_3, b_2, a_4, a_5$ – коэффициенты пропорциональности, определенные экспериментальным путем.

Из выражения (13) найдем параметр (m), для чего произведем преобразования:

$$m(b_1 + b_2 m) = \psi - a_1 - a_2 \gamma - a_3 h + a_4 \gamma^2 + a_5 h^2.$$

Введем условное обозначение, что $c = a_1 - a_2 \gamma - a_3 h + a_4 \gamma^2 + a_5 h^2$ и произведем преобразования, в результате которых получим, что $m = \psi_{cp} - c$.

Выражение $m = \psi_{cp} - c$ подставим в уравнение (12), найдем функцию $V_K = f(\psi_{cp})$ и, далее, с учетом, что $V_{TP} = V_K$ в выражении (11), и после всех преобразований, с учетом допущения, что $c = 0$, получим:

$$\psi_{cp}^2 = \frac{q^2}{g \delta_{n.n.} (k_d^2 - 1) - V_{KP}^2}. \quad (14)$$

Для исследования зависимости $\psi_{cp} = f(k_d)$ примем допущение, что $q = 1,0$; $g \delta_{n.n.} = 1,0$ и $V_{KP}^2 = 1,0$. Тогда выражение (14) примет окончательный вид:

$$\psi_{cp} = \sqrt{\frac{1}{(k_d^2 - 1) - 1}}. \quad (15)$$

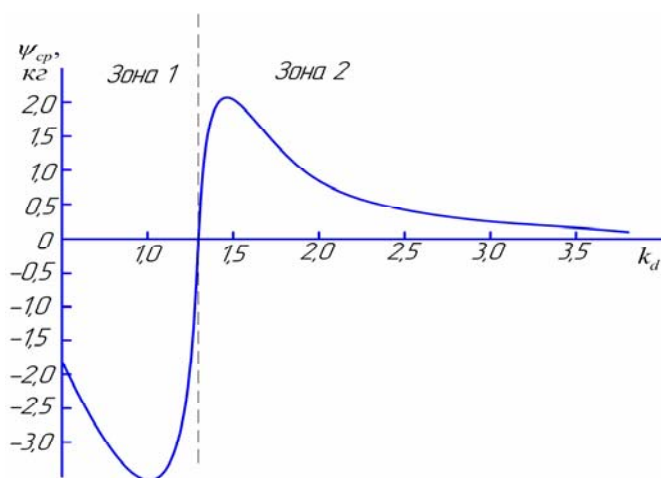


Рисунок 3 – Изменение потерь зерна за подборщиком комбайна в зависимости от динамического удара (k_d) пружинного пальца с кольцевым витком на подбирающей поверхности

Графическая интерпретация выражения (15) свидетельствует, что при взаимодействии пружинного пальца с кольцевым витком на подбирающей поверхности с хлебной массой валка, изменение потерь зерна (ψ_{cp}), в зависимости от динамического коэффициента (k_d) удара характеризуется наличием двух зон (рисунок 3).

Первая зона (0 – 1,3) – потери зерна (ψ_{cp}) от динамического удара (k_d) – отсутствуют (знак минус). Вторая зона (1,3 – 3,0) показывает

образование потерь зерна от динамического удара (k_d) пружинного пальца. Из рисунка 3 видно, что переход из одной зоны в другую происходит скачкообразно, что говорит о сложном характере взаимодействия пружинного пальца с хлебной массой валка. При этом, изменение потерь зерна (ψ_{cp}) во второй зоне свидетельствует

о том, что динамический удар (k_d) пружинного пальца с кольцевым витком на подбирающей поверхности отрицательно влияет на образование потерь зерна, которые можно свести к минимуму за счет обеспечения более «мягкого» режима подбора хлебной массы валка, посредством уменьшения частоты вращения вала транспортера подборщика комбайна. Для подтверждения теоретических предпосылок необходимо провести экспериментальные исследования.

В третьей главе «Методика экспериментальных исследований» изложены программа, методика, условия проведения экспериментов, приведены методы измерения и обработки результатов опытов.

В экспериментальных исследованиях применялась лабораторная установка, имитирующая процесс подбора валка хлебной массы транспортером подборщика (рисунок 4, а).

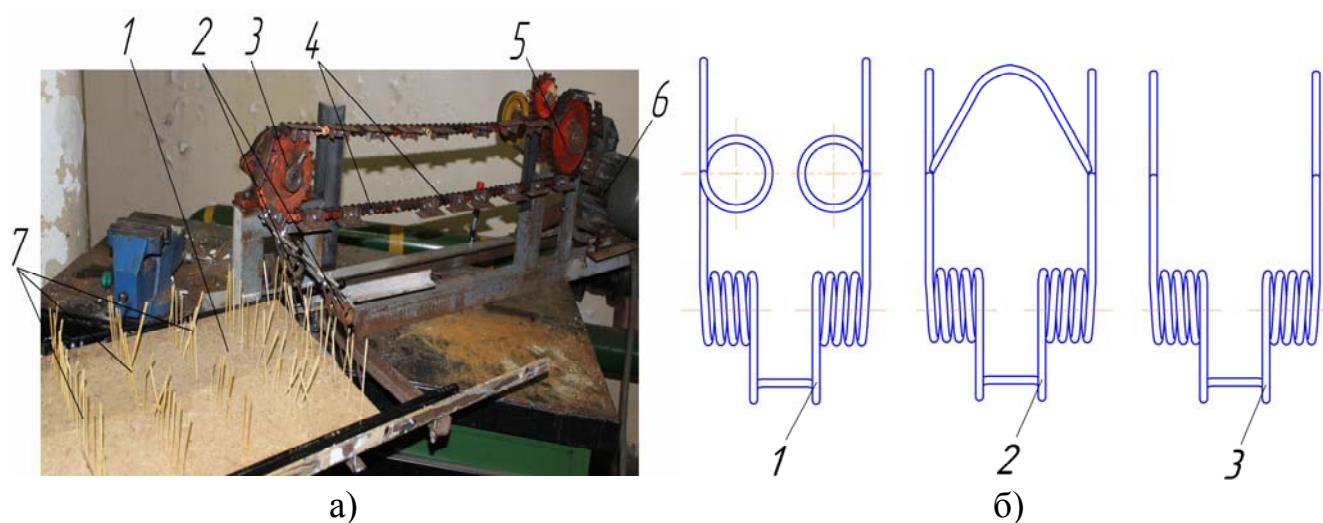


Рисунок 4 – Общий вид лабораторной установки (а) и сменные пальцы (б)

Установка (рисунок 4, а) включала цепь (4) с прикрепленными на ней подбирающими пальцами (2), которые имеют геометрию подбирающей поверхности с наличием кольцевого витка – 1, дуги – 2 и стандартную (серийный палец) – 3 (рисунок 4, б), ведомую (3) и ведущую (5) звездочки привода цепи (3), приводимые в движение с помощью асинхронного двигателя (6), доски (1), имитирующей поверхность поля, и стерни (7), на которую укладывалась хлебная масса валка.

Методика предусматривала серию предварительных опытов с целью определения эксплуатационных режимов лабораторной установки и проверки работоспособности пружинных пальцев с измененной геометрией (рисунок 4, б).

Эксперимент по установлению качественных показателей работы пружинных пальцев транспортерного подборщика – многофакторный. В качестве критерия оптимизации выбраны потери зерна (ψ_{cp} , кг). На основе теоретических исследований, предварительных опытов и сбора априорной информации, в качестве управляемых были выбраны следующие факторы: $m(X_1)$ – масса одного погонного метра, кг/пог. м;

$\gamma(X_2)$ – угол наклона транспортной ленты подборщика к горизонтальной плоскости, град; $h(X_3)$ – высота расположения хлебной массы валка на стерне, м.

Таким образом, поставлена следующая задача экспериментальных исследований:

$$\left. \begin{aligned} \psi_{cp}(m, h, \gamma) &\rightarrow \min \\ m &\in [3 \dots 5], h \in [6 \dots 10], \gamma \in [0 \dots 10] \end{aligned} \right\}. \quad (16)$$

В качестве плана эксперимента был принят композиционный, симметричный, трехуровневый план для трех факторов.

Производственные испытания экспериментального пружинного пальца с кольцевым витком на подбирающей поверхности проводились на базе транспортного подборщика зерноуборочного комбайна «ACROS-530» при подборе и обмолоте хлебной массы валков (рисунок 5).



а)



б)

Рисунок 5 – Комбайн «ACROS-530» при подборе хлебной массы валка (а) и расположение экспериментальных пружинных пальцев на транспортере подборщика (б)

Основой экспериментальных исследований в полевых условиях являются общепринятые методические положения по испытанию зерноуборочных машин.

В четвертой главе «Результаты экспериментальных исследований» представлены основные результаты лабораторных и полевых экспериментов взаимодействия стандартного пружинного пальца, пружинного пальца с дугой на подбирающей поверхности и пружинного пальца с кольцевым витком на подбирающей поверхности с хлебной массой валка, и дан их анализ.

В ходе агротехнической оценки валков хлебной массы, сформированных жатвенным агрегатом МТЗ-80+ЖВП-9.1, в производственных условиях ООО «Светлогорское зерно», Агаповского района, Челябинской области в 2015 г было установлено, что мощность валков (пшеница Челябинская 2) изменяется от 3,0 кг/пог. м до 7,5 кг/пог. м. Исходя из данных значений мощности валка хлебной массы, в последующем, были проведены исследования на лабораторной установке.

Результаты полнофакторного эксперимента на лабораторной установке позволили получить уравнения регрессии, устанавливающие связь между потерями

зерна $Y(\psi_{cp})$ и массой одного погонного метра – X_1 (m , кг/пог. м), углом наклона транспортной ленты подборщика к горизонтальной плоскости – X_2 (γ град) и высоты расположения хлебной массы валка на стерне – X_3 (h , м)

После обработки экспериментальных данных, которую проводили с использованием электронных таблиц Microsoft Excel 2010 из пакета Microsoft Office 2010, получили уравнения регрессии серийного пружинного пальца, пружинного пальца с дугой на подбирающей поверхности и пружинного пальца с кольцевым витком на подбирающей поверхности.

– для стандартного (серийного) пружинного пальца:

$$Y = 18,238 + 1,44X_1 + 0,563X_2 + 0,621X_3 - 0,684X_1^2 - 0,558X_2^2 - 0,315X_3^2; \quad (17)$$

– для пружинного пальца с дугой на подбирающей поверхности:

$$Y = 14,735 + 1,273X_1 - 0,513X_2 + 0,336X_3 + 0,339X_1^2 - 0,442X_2^2 - 0,254X_3^2; \quad (18)$$

– для пружинного пальца с кольцевым витком на подбирающей поверхности:

$$Y = 11,198 + 0,914X_1 + 0,292X_2 + 0,217X_3 + 0,371X_1^2 - 0,243X_2^2 - 0,461X_3^2. \quad (19)$$

Полученные модели регрессии второго порядка (17) – (19) проверяли на адекватность с помощью F-критерия Фишера. Расчетные значения критерия Фишера оказались меньше табличного при уровне значимости 95%, что свидетельствует об адекватности полученных моделей ($F_{расч} \leq F_{табл}$).

В раскодированном виде уравнения (17) – (19) можно переписать следующим образом:

– для серийного пружинного пальца

$$\psi_{cp} = 16,979 + 0,96 \cdot m + 0,112 \cdot \gamma + 0,31 \cdot h - 0,207 \cdot m^2 - 0,012 \cdot \gamma^2 - 0,024 \cdot h^2; \quad (20)$$

– для пружинного пальца с дугой на подбирающей поверхности

$$\psi_{cp} = 10,278 + 0,848 \cdot m - 0,102 \cdot \gamma + 0,168 \cdot h + 0,051 \cdot m^2 - 0,007 \cdot \gamma^2 - 0,016 \cdot h^2; \quad (21)$$

– для пружинного пальца с кольцевым витком на подбирающей поверхности

$$\psi_{cp} = 9,517 + 0,609 \cdot m + 0,058 \cdot \gamma + 0,108 \cdot h + 0,061 \cdot m^2 - 0,002 \cdot \gamma^2 - 0,053 \cdot h^2; \quad (22)$$

где ψ_{cp} – потери зерна, кг;

m – масса одного погонного метра, кг/пог. м;

h – высота расположения хлебной массы валка на стерне, м;

γ – угол наклона транспортной ленты подборщика к горизонтальной плоскости, град.

Полученные уравнения регрессии в раскодированном виде позволили построить поверхности откликов критерия оптимизации – потерь зерна (ψ_{cp}) от факторов (m ; h ; γ), то есть $\psi_{cp} = f(m, h, \gamma)$, что отображено на рисунках 6 – 8.

– для стандартного (серийного) подбирающего пальца:

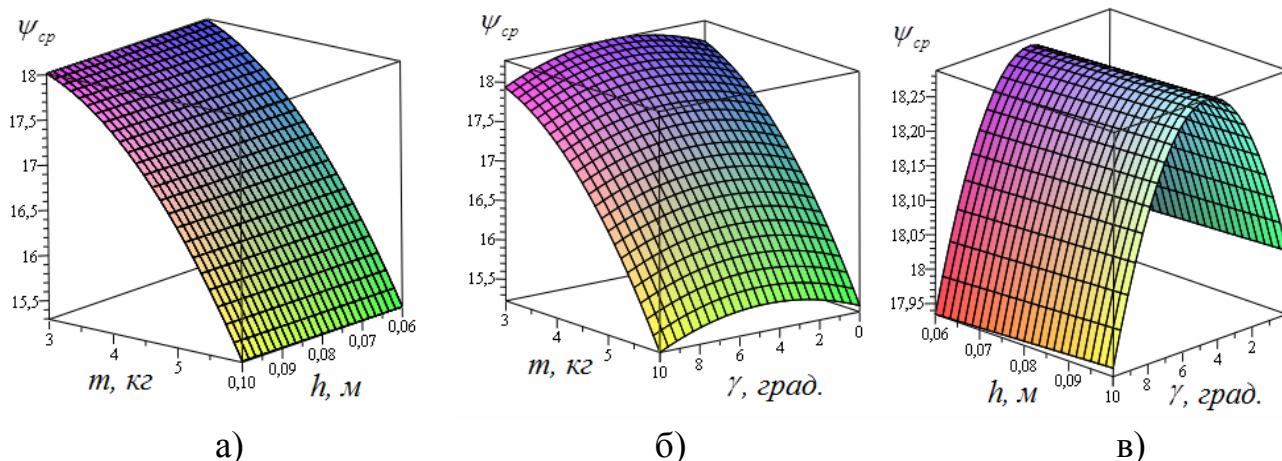


Рисунок 6 – Поверхность отклика критерия оптимизации потерь зерна ($\psi_{ср}$) от факторов: массы одного погонного метра (m) и высоты расположения хлебной массы вала на стерне (h) – (а); массы одного погонного метра (m) и угла наклона транспортной ленты подборщика к горизонтальной плоскости (γ) – (б); высоты расположения хлебной массы вала на стерне (h) и угла наклона транспортной ленты подборщика к горизонтальной плоскости (γ) – (в)

– для пружинного пальца с дугой на подбирающих поверхностях:

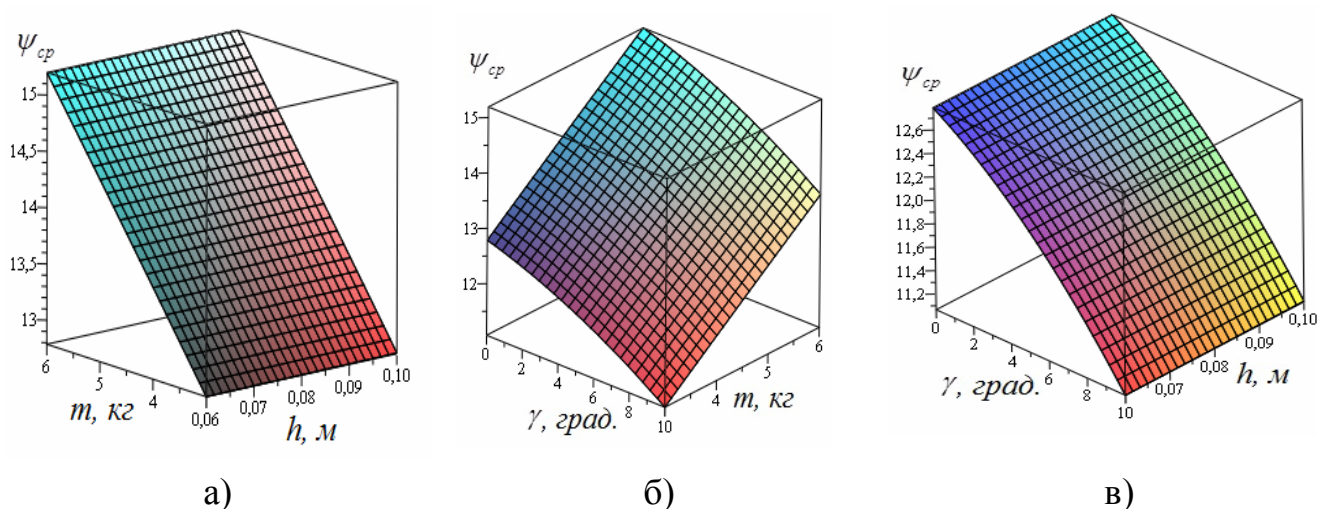


Рисунок 7 – Поверхность отклика критерия оптимизации потерь зерна ($\psi_{ср}$) от факторов: массы одного погонного метра (m) и высоты расположения хлебной массы вала на стерне (h) – (а); массы одного погонного метра (m) и угла наклона транспортной ленты подборщика к горизонтальной плоскости (γ) – (б); высоты расположения хлебной массы вала на стерне (h) и угла наклона транспортной ленты подборщика к горизонтальной плоскости (γ) – (в)

– для пружинного пальца с кольцевым витком на подбирающей поверхности

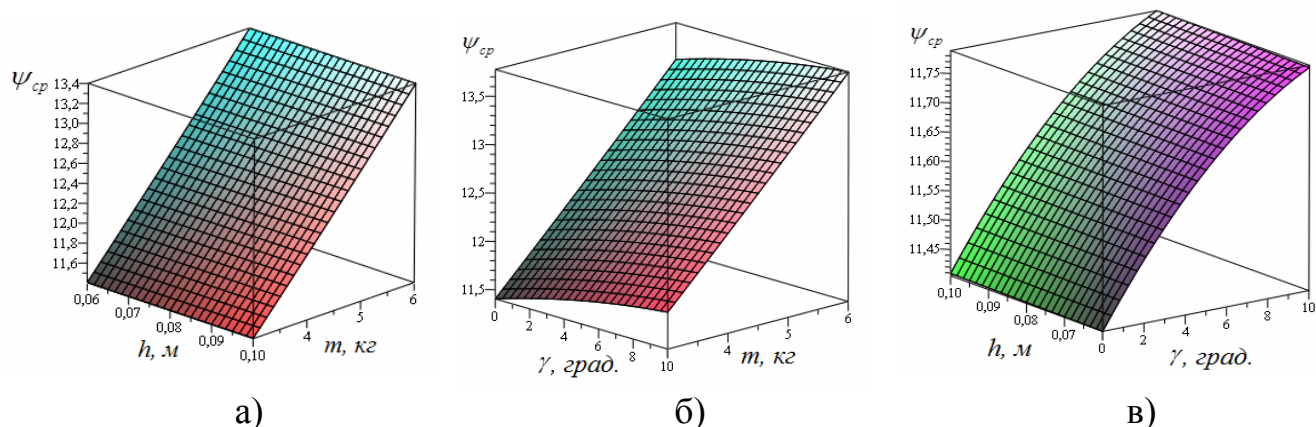


Рисунок 8 – Поверхность отклика критерия оптимизации потерь зерна (ψ_{cp}) от факторов: массы одного погонного метра (m) и высоты расположения хлебной массы вала на стерне (h) – (а); массы одного погонного метра (m) и угла наклона транспортной ленты подборщика к горизонтальной плоскости (γ) – (б); высоты расположения хлебной массы вала на стерне (h) и угла наклона транспортной ленты подборщика к горизонтальной плоскости (γ) – (в)

Исследованиями на лабораторной установке определено, что минимальные потери зерна при подборе хлебной массы вала обеспечивают пружинные пальцы с кольцевым витком на подбирающей поверхности (потери зерна снижаются на 32,0 % в сравнении со стандартным (серийным) пальцем и на 19,0 % в сравнении с пружинным пальцем с дугой на подбирающей поверхности), что так же подтверждает графическая интерпретация полученных регрессионных моделей.

Результаты производственной проверки в ООО «Светлогорское зерно» Агаповского района, Челябинской области подбора и обмолота хлебной массы валков комбайном «ACROS-530», оснащенным подборщиком стандартными и экспериментальными пальцами, представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Потери зерна за подборщиком комбайна «ACROS-530», кг/га

Место испытания: ООО «Светлогорское зерно», Агаповского района, Челябинской области						
Культура: пшеница Челябинская 2, Урожайность 17,0 – 19,7 ц/га						
Дата 24.08.2015 г. – 10.09.2015 г.						
Рабочая скорость комбайна, м/с (км/ч)	Стандартный пружинный палец			Экспериментальный пружинный палец		
	\bar{x}	σ	$\nu, \%$	\bar{x}	σ	$\nu, \%$
1,0 (3,6)	20,82	5,58	26,81	14,92	3,49	23,38
1,5 (5,4)	21,48	2,44	11,37	16,20	1,60	9,85
2,0 (7,2)	21,88	3,77	17,22	17,38	3,20	18,40
Итого в среднем	21,39	4,03	18,84	16,16	2,76	17,07

Агротехническая оценка потерь зерна за подборщиком комбайна «ACROS-530» показала, что с увеличением скорости движения машины возрастают потери зерна за подборщиком (находятся в агротехнических допустимых пределах – 0,5 %), независимо от типа пружинного пальца (таблица 1). При этом определено, что применение пружинного пальца с кольцевым витком на подбирающей поверхности обеспечивает снижение потерь зерна за подборщиком на 25,0 %, за счет более «мягкого» режима работы пружинных пальцев транспортера подборщика комбайна.

В пятой главе «Экономическая эффективность результатов исследования» приведены результаты расчетов годового экономического эффекта от применения пружинных пальцев с кольцевым витком на подбирающей поверхности при уборке валка хлебной массы с межвалковым расстоянием – 9 м, который составляет 28539 руб., а при уборке спаренных валков (межвалковое расстояние – 18 м) хлебной массы – 57229,2 руб. Срок окупаемости подборщика, оснащенного одним комплектом пружинных пальцев с кольцевым витком на подбирающей поверхности, составит, соответственно, 0,91 и 0,45 года. Все расчеты проводились по ценам 2015 г.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Результаты обзора и анализ научно-технической информации (литературы) показал, что существующие пружинные пальцы транспортерного подборщика зерноуборочного комбайна являются основным источником потерь зерна при уборке хлебной массы валка. Поскольку при взаимодействии их с хлебной массой образуется центробежная сила, которая стремится сбросить растительный материал с подбирающей поверхности пружинного пальца. Отрицательное влияние данной силы можно уменьшить за счет изменения геометрии и увеличения площади контакта подбирающей поверхности пружинного пальца.

2. В ходе теоретических изысканий получены закономерности, из которых следует, что наличие кольцевого витка на подбирающей поверхности пружинного пальца обеспечивает увеличение его контактной площади взаимодействия с хлебной массой на 6,0 – 8,0 %, в сравнении со стандартным пружинным пальцем. При увеличении наружного диаметра (D) кольцевого витка до 28,0 мм контактная площадь подбирающей поверхности пружинного пальца возрастает до 13,0 %. Кроме того, на основе данных закономерностей была получена аналитическая зависимость, раскрывающая взаимосвязь между коэффициентом, характеризующим контактную площадь подбирающей поверхности ($k_{к.п.}$) пружинного пальца, с его геометрическими параметрами.

3. Силовой расчет, с учетом коэффициента ($k_{к.п.}$), и компьютерное моделирование механических деформаций на 3-D модели пружинного пальца показали,

что кольцевой виток на подбирающей поверхности лучше всего будет расположить в верхней части пружинного пальца. Однако, исходя из особенностей процесса подбора хлебной массы валка и работы транспортера подборщика, кольцевой виток целесообразно расположить в центральной части подбирающей поверхности пружинного пальца.

4. Выявленная закономерность изменения потерь зерна (ψ_{cp}) от динамического удара при взаимодействии пружинного пальца с хлебной массой валка свидетельствует о том, что в зависимости от величины коэффициента динамического удара (k_d) образуются две зоны. Одна из них характеризует отсутствие образования потерь зерна от динамического удара (k_d), другая – наоборот. Графическая интерпретация данной закономерности показывает скачкообразный переход из одной зоны в другую. Отрицательное влияние динамического удара (k_d) на потери зерна при взаимодействии пружинного пальца с хлебной массой можно свести к минимуму за счет «мягкого» режима подбора хлебной массы валка, который обеспечивается посредством снижения частоты вращения вала привода транспортера.

5. В результате лабораторных исследований (на основе полнофакторного эксперимента) взаимодействия пружинных пальцев различной геометрии подбирающей поверхности (стандартные, с дугой и кольцевым витком на подбирающей поверхности) с хлебной массой валка были получены регрессионные модели, описывающие связь между результирующим критерием – потери зерна (ψ_{cp}) и такими факторами, как масса одного погонного метра (m), угол наклона прямолинейного участка транспортера к горизонтальной плоскости (γ), высота расположения хлебной массы валка на стерне (h). В результате их решения и анализа определено, что наиболее эффективным является пружинный палец с кольцевым витком на подбирающей поверхности, поскольку такая геометрия подбирающей поверхности пальца обеспечивает более «мягкий» режим подбора хлебной массы валка, а это снижение потерь за транспортерным подборщиком зерноуборочного комбайна.

6. Полевые испытания в производственных условиях транспортерного подборщика зерноуборочного комбайна «ACROS-530», оснащенного пружинными пальцами с кольцевым витком на подбирающей поверхности, показали снижение потерь зерна до 25,0 % при подборе хлебной массы валков. При этом обеспечивается более «мягкий» режим работы транспортерного подборщика, поскольку за счет наличия кольцевого витка на подбирающей поверхности увеличивается площадь контакта пружинного пальца с хлебной массой, что дает возможность снизить обороты вращения вала привода транспортера подборщика.

7. Определено, что экономический эффект от применения транспортерного подборщика зерноуборочного комбайна «ACROS-530», снабженного предлагаемыми пружинными пальцами при уборке валка хлебной массы с межвалковым рас-

стоянием – 9 м, составляет 28539,0 руб., а при уборке спаренных валков (межвалковое расстояние – 18 м) – 57229,2 руб. Срок окупаемости одного подборщика комбайна, снабженного одним комплектом пружинных пальцев с кольцевым витком на подбирающей поверхности, составит, соответственно, 0,91 и 0,45 года.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОИЗВОДСТВУ

Полученные результаты теоретических и экспериментальных исследований будут полезны для повышения эффективности использования зерноуборочных комбайнов во время уборки зерновых культур, а также при проектировании новых подбирающих пальцев транспортных подборщиков.

ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ

На основе проведенных исследований и полученных данных, в дальнейшем, планируется провести исследования разработанного пружинного пальца при выполнении технологического процесса подбора хлебной массы сорных, пророщенных и «рыхлых» валков.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ:

Публикации в изданиях, рекомендуемых ВАК РФ

1. Огнев, И.И. Анализ классификации и технологических схем подборщиков / И.И. Огнев // Известия Международной академии аграрного образования – 2011. - № 11. – С. 55 – 57.
2. Огнев, И.И. Причины потерь зерна при уборке урожая зерновых культур / И.И. Огнев, В.В. Кирилов // Известия Международной академии аграрного образования - 2013. – № 18. – С. 66 – 68.
3. Огнев, И.И. Влияние конструктивно-технологических параметров и режимов работы подборщиков на качество подбора валка хлебной массы / И.И. Огнев, И.Г. Огнев // Известия Международной академии аграрного образования – 2015. – Вып. 25, т. 1. – С.126 – 129.
4. Огнев, И.И. Результаты исследования подбирающего пальца, выполненного в виде кольцевого витка, транспортного подборщика зерноуборочного комбайна / И.И. Огнев // Известия Международной академии аграрного образования – 2015. – Вып. 25, т. 1. – С.123–126.

5. Огнев, И.И. Устойчивость валков хлебной массы на стерне зерновых культур / А.П. Ловчиков, И.И. Огнев // Известия Международной академии аграрного образования – 2015. – Вып. 25, т. 1. – С. 117–119.

6. Огнев, И.И. К вопросу об изменении подбирающей поверхности пружинного пальца транспортной ленты подборщика зерноуборочного комбайна «ACROS-530» / А.П. Ловчиков, А.Н. Зеленин, И.И. Огнев, И.Г. Огнев, В.В. Кирилов // Известия Международной академии аграрного образования – 2016. – Вып. 30. – С. 40–44.

Публикации в других изданиях

7. Огнев, И.И. Пути повышения производительности современных зерноуборочных комбайнов при вступлении в ВТО [Электронный ресурс] / И.И. Огнев // Аграрное образование и наука – 2013. – № 4. – С. 1–3. – Режим доступа: http://aon.urgau.ru/uploads/article/pdf_attachment/83/8.

8. Огнев, И.И. К вопросу об анализе вала хлебной массы в зоне подбора в зависимости от кинематического режима работы транспортерного подборщика с подбирающими пальцами измененной геометрии / И.И. Огнев // Материалы LIV международной научно-технической конференции «Достижения науки – агропромышленному производству» / ЧГАА. – Челябинск : ЧГАА, 2015. – Ч. 3. – С. 166–169.

9. Огнев, И.И. Обоснование математической модели взаимодействия рабочих органов транспортерного подборщика зерноуборочного комбайна с валком хлебной массы / И.И. Огнев // V международная научно-практическая конференция «Актуальные проблемы науки XXI века» : сб. статей / Международная исследовательская организация «Cognito». – М. : Международная исследовательская организация «Cognito», 2015. – Ч. 2. – С. 123–127.

10. Огнев, И.И. Обоснование изменения геометрии рабочей поверхности пружинного пальца транспортной ленты подборщика-адаптера / И.И. Огнев // IX международная научно-практическая конференция «Актуальные проблемы науки XXI века» : сб. статей / Международная исследовательская организация «Cognito». – М. : Международная исследовательская организация «Cognito», 2016. – Ч. 3. – С. 67–73.

Патенты и свидетельства

11. Пат. № 158040 RU МПК А 01 D 89/00. Пружинный подбирающий палец для транспортерного подборщика зерноуборочного комбайна / А.П. Ловчиков, И.И. Огнев. - № 2015118490/13; заявл. 18.05.2015; опубл. 20.12.2015, Бюл. № 35.

Огнев Игорь Игоревич

СНИЖЕНИЕ ПОТЕРЬ ЗЕРНА ЗА ПОДБОРЩИКОМ ПРИ КОМБАЙНОВОЙ
УБОРКЕ УРОЖАЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕМ ПОДБИРАЮЩЕЙ
ПОВЕРХНОСТИ ПРУЖИННЫХ ПАЛЬЦЕВ

Специальность 05.20.01 – Технологии и средства
механизации сельского хозяйства

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать
Формат 60х84/16. Усл. печ. л. 1,0 Печать трафаретная.
Бумага офсетная. Гарнитура Times New Roman.

Заказ № Тираж 110 экз.
Отпечатано в Издательском центре ОГАУ.
4600014, г. Оренбург, ул. Челюскинцев, д.18
тел.:(3532) 77-61-43